

ノンフロン the 鮮蔵庫 GR-NF415GX

GR-NF415GX “Non-fluorocarbon the SENZOHKO” Refrigerator

伊藤 達也

■ ITO Tatsuya

今久保 賢治

■ IMAKUBO Kenji

林 秀竹

■ HAYASHI Hidetake

家庭用冷蔵庫に対する顧客ニーズの第1位は“省エネ”である。このニーズに応えるため、一つのコンプレッサ内に二つのシリンダを内蔵した業界初の“2ステージ(2段圧縮式)コンプレッサ”を開発し、冷媒流量を可変する新開発のPMV(Pulse Motor Valve)と組み合わせることにより、冷凍室と冷蔵室を同時に冷却し、それぞれを独立して最適温度に制御できる“2ステージパラレル冷凍サイクル”を実現した。

また、食肉問題などで関心が高まっている“食の安全性”に貢献するため、冷却と抗菌・脱臭による鮮蔵(食品の鮮度を維持して貯蔵)機能を全室に採用した。これらの要素技術をコンパクトに搭載し、400Lクラスでは業界初の年間消費電力量150kWh/年を達成した省エネタイプ冷蔵庫、“ノンフロン the 鮮蔵庫”GR-NF415GXを2004年1月に商品化した。

Energy saving is the first priority of customers for household refrigerators. To meet this need, Toshiba has developed a two-stage compressor with two built-in cylinders and applied it to refrigerators for the first time in the industry. A two-stage parallel freezing cycle was realized to enable optimum temperature control of each individual compartment for freezing and refrigeration by a combination of the two-stage compressor and a newly developed pulse motor valve (PMV) that controls refrigerant flow rates for two compartments at the same time. All compartments are also equipped with the senzoh (freshness preservation) function by cooling, as well as antibacterial and deodorization action, to contribute to food safety, which has been attracting serious concern following the outbreak of bovine spongiform encephalopathy (BSE).

The GR-NF415GX energy-saving refrigerator, named “Non-fluorocarbon the SENZOHKO,” was introduced on the market in January 2004 equipped with these functions. This model has achieved a low power consumption of 150 kWh/year for the first time in the industry in the 400 L volume class.

1 まえがき

地球環境保護に対する消費者の意識の高まりとともに、冷蔵庫には、より少ない電力で冷蔵庫の本質機能である食品鮮度保存(鮮蔵)機能を維持・向上させることが求められている。

東芝は、1998年11月に、冷却システムを改革したツイン冷却システムとタイムシェアリング制御を開発し、その後改良を加えて消費電力量を漸減し、2003年までに、10年前の冷蔵庫に対して電気代を約1/4にした。

一方、地球環境保護に関しては、オゾン層保護に加えて地球温暖化防止にも寄与する“ノンフロン冷蔵庫”を、2002年1月に、ファンクールタイプ冷蔵庫として世界に先駆けて発売した。

更に2004年度は、家庭用冷蔵庫に初めて採用した“2ステージコンプレッサ”とPMV(Pulse Motor Valve)制御による“2ステージパラレル冷凍サイクル”を開発し、究極のツイン冷却とも言える、冷凍と冷蔵の同時冷却を実現した冷蔵庫GR-NF415GXを2004年1月に発売した。この商品は、DSP(Digital Signal Processor)制御インバータと真空断熱

材の採用により徹底的な省エネ設計を追求するとともに、冷凍と冷蔵の冷気循環経路にそれぞれプラズマユニットと光プラズマユニットを搭載して、食品鮮度保持性能を高めている。以下、この冷蔵庫の仕様と省エネ技術を中心とした特長について述べる。

2 GR-NF415GX 冷蔵庫の特長

GR-NF415GXの外観を図1に示す。

この冷蔵庫の主な特長は、次のとおりである。

- (1) 業界トップクラスの省エネを実現 家庭用冷蔵庫に初めて採用した2段圧縮式インバータコンプレッサ及びこれに適応したDSPインバータ制御、PMV冷媒制御技術による2ステージパラレル冷凍サイクル高効率冷却運転と、真空断熱パネルの採用及び各部の断熱厚さの最適化設計による断熱性能の向上で、業界トップの年間消費電力量150kWh/年を実現した。この値は、冷蔵庫のLCA(Life Cycle Assessment)において約80%を占める冷蔵庫使用時における消費電力量を、2002年度機種に対



図1. GR-NF415GX —ノンフロン冷媒を使用し、2ステージコンプレッサとPMVによる2ステージパラレル冷凍サイクルを搭載した鮮蔵・省エネタイプの5ドア冷蔵庫である。
GR-NF415GX energy-saving refrigerator

して約42.3%低減したものである。これは、10年前の同内容積の冷蔵庫に比較すると、1/7以下の消費電力量に相当する。これにより、発電時に発生するCO₂(二酸化炭素)削減に寄与するとともに、月平均の電気代は約275円(1kWh = 22円で算出)となり、年間にして約19,000円の節約を行って家計に貢献したことになる。

- (2) 全室クリーン鮮蔵 冷凍と冷蔵の冷気循環経路にそれぞれプラズマユニットを設置し、冷凍及び冷蔵庫内の浮遊菌の活動を抑制するとともに脱臭も行い、クリーンな冷凍と冷蔵を実現した。また、コンプレッサの負荷変動を検知し、DSPベクトル制御により庫内の温度をすばやく最適状態にすることができた。これらの抗菌・脱臭と冷却の鮮蔵制御により食品の鮮度を長持ちさせて廃棄食材を低減し、各家庭からの生ごみ排出量の削減とともに家計にも貢献した。
- (3) 地球環境保護に寄与 ノンフロン冷媒のイソブタン(R600a)は、オゾン層を破壊せず、かつ地球温暖化係数の極めて低い炭化水素系の自然冷媒である。省エネや地球環境保護の面では優れているが、可燃性であるという最大の問題点があるため、万一の冷媒漏れにも対応した安全設計と要素部品の防爆対応を行った。

3 2ステージパラレル冷凍サイクル技術

3.1 動作

従来の冷凍冷蔵庫の冷凍サイクルは、冷凍と冷蔵の各室にそれぞれ専用の冷却器を持ち、切替弁で冷媒の流れを切り替えることにより冷却を行うタイムシェアリング方式を採用していた。

これに対し、2ステージパラレル冷凍サイクルは、冷媒流量を可変するPMVにより、冷凍室と冷蔵室の冷却器に同時に冷媒を流して、冷凍室と冷蔵室をそれぞれ独立して最適温度に制御できるようにした。その冷凍サイクルを図2に示す。その原理は、二つのシリンダを内蔵する2ステージインバータコンプレッサ(図3)の第2圧縮部のシリンダ(圧縮部)から高压ガス状の冷媒を吐出し、凝縮器で放熱して液化させる。その後、冷媒を分流、減圧し、冷凍室用と冷蔵室用の冷却器に同時に流す。冷凍室用冷却器で冷凍室を冷却し気化した冷媒をコンプレッサの第1圧縮部のシリンダに吸い込み、冷蔵室用冷却器の蒸発圧力まで圧縮する。

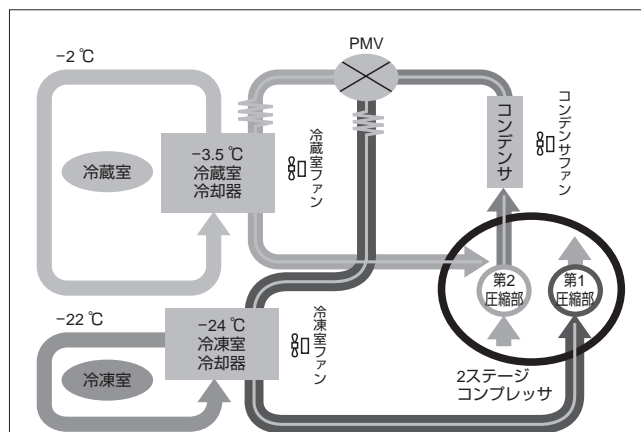
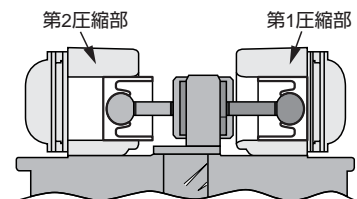


図2. 2ステージパラレル冷凍サイクル —二つのシリンダを内蔵する2ステージコンプレッサにより冷凍室と冷蔵室を同時に冷却し、PMVにより冷媒流量を制御する。

Two-stage parallel freezing cycle



(a) 2ステージコンプレッサ



(b) 2段圧縮機構部

図3. 2ステージコンプレッサ —二つのシリンダで冷凍室と冷蔵室それぞれに適した蒸発圧力にまで圧縮する。

Two-stage compressor

一方、冷蔵室用冷却器で冷蔵室を冷却し気化した冷媒をコンプレッサに吸い込み、第1圧縮部で圧縮した冷媒とケース内で合流させた後、第2圧縮部のシリンダで凝縮圧力まで圧縮し吐出する。

3.2 効果

2ステージパラレル冷凍サイクルは、二つの異なる温度の冷却器を同時に使用して冷却運転できるという特長がある。

冷凍室と冷蔵室を同時冷却することによって冷却器の時間的な利用効率を上げることができ、そのため、各冷却器の温度を従来サイクルより高くしても、十分な熱交換性能が得られた。図4に示すように、2ステージインバータコンプレッサの各吸込圧力を高くすることができ、特に、冷蔵室冷却器からコンプレッサに戻る冷媒の圧縮比を低くして、冷凍サイクルの効率を向上することができた。更に、従来のタイムシェア方式で発生する冷媒流路の切替えによるロスも低減できた。

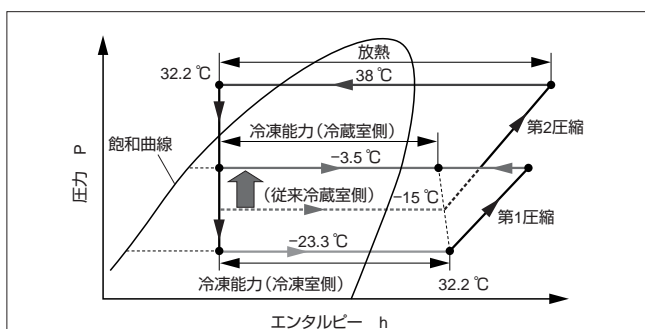


図4. 2ステージパラレル冷凍サイクルの特性 — 蒸発温度が異なる冷凍と冷蔵の二つの冷却器を用い、同時に冷却運転する。
Characteristics of two-stage parallel freezing cycle

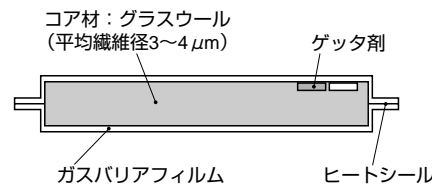
これらの効果を合わせると、従来方式に比較して消費電力量を約10%低減できた。また、庫内の温度と湿度ともに変化幅を減少させ、庫内を恒温・高湿化することにより、食品の長期鮮度保存性能も高めた。

4 省エネ技術

4.1 断熱最適化設計

この商品は、無機繊維系コア材(グラスウール)を用いた真空断熱パネルと、ウレタンフォーム断熱材の最適化設計によるキャビネット断熱構造を採用した。

真空断熱パネルは、図5に示すように、コア材に極細(平均繊維径3~4 μ m)の短繊維グラスウールを採用した。最少量の有機系バインダによって寸法精度と平面性を確保し、業界最高レベルで、従来のウレタンフォームの約1/10の熱伝導率0.0018 W/m \cdot K(パネル中央部)を実現している。外部からのヒートリークの影響を極力抑えるために、図6に示すように、真空断熱パネルを両側面、背面、扉面に配設した。



	ウレタンフォーム	真空断熱パネル
熱伝導率 (20°C, W/m \cdot K)	0.020	0.0018

図5. 真空断熱パネルの構造と特性 — 物理吸着と化学吸着を行うゲッター剤を併用して、高断熱性と耐久性、経時安定性を大幅に向上させた。
Structure and characteristics of vacuum insulation panel

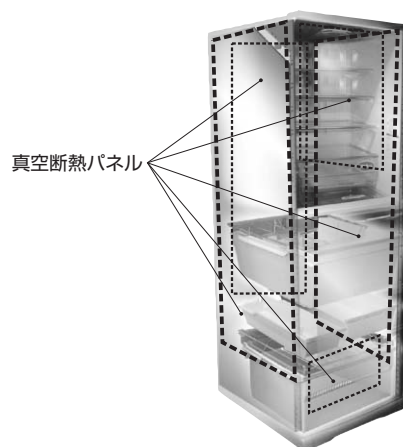


図6. 真空断熱パネルの設置 — キャビネットの両側面、背面、扉面に真空断熱パネルを取り付け、断熱材の最適設計に基づく断熱構造を採用した。

Mounting of vacuum insulation panels

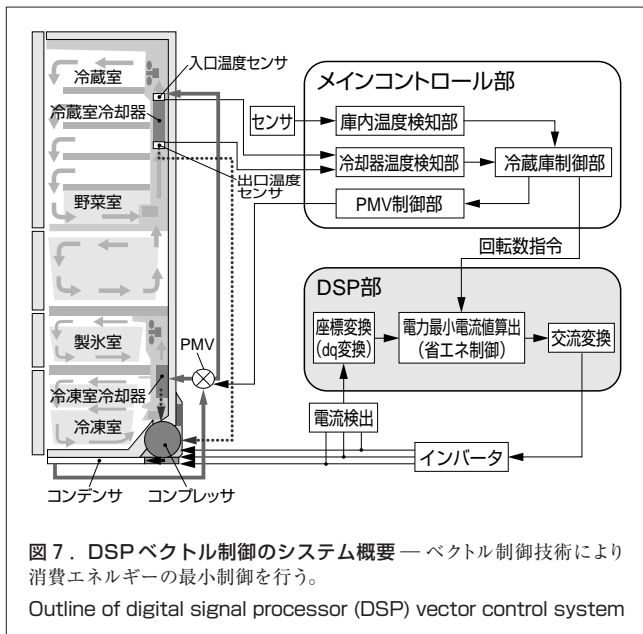
4.2 DSPを用いたコンプレッサのベクトル制御

DSPベクトル制御を搭載したこの冷蔵庫の制御システムの概要を図7に示す。このシステムでは、DSPを用いたベクトル制御によりコンプレッサモータを高効率で駆動することで、消費電力を低減した。

ベクトル制御は、モータ電流値(三相)を検出し、この電流値をモータのロータと共に回転する直交座標系に変換(dq変換)して、トルクに寄与する成分(I_q)としない成分(I_d)とに分けて制御する方式である。モータ固有のトルク特性方程式を用い、必要トルクを得るための電流値を最小に制御することで、コンプレッサモータの高効率駆動が可能になり、従来の矩形(くけい)波方式に対し、より省エネ化することができた。このベクトル制御をDSPを用いて行い、あらゆる負荷条件に対し瞬時に対応できるシステムとした。

4.3 PMVによる冷媒制御

2ステージパラレル冷凍サイクルでは、コンプレッサから吐出された高圧の冷媒を冷蔵庫底面に設置したコンデンサで



液化した後、冷凍室側と冷蔵室側の2方向に冷媒を分流させている。しかし、単純に配管を2方向に分岐させただけでは冷媒は両側に均等に流れないので、それぞれの冷媒循環流量の調節を行うために、PMVを用いている。弁の開度を高精度で調節するために、冷蔵室冷却器の入口と出口パイプ部の温度を検出しフィードバックすることにより、冷媒がどちらの冷却器により多く流れているかを検知し、冷媒分流量を最適に保ちながら、同時に両方の冷却器を冷やすことができるようにした。この制御方法により、冷凍サイクル効率が大幅に向上した。

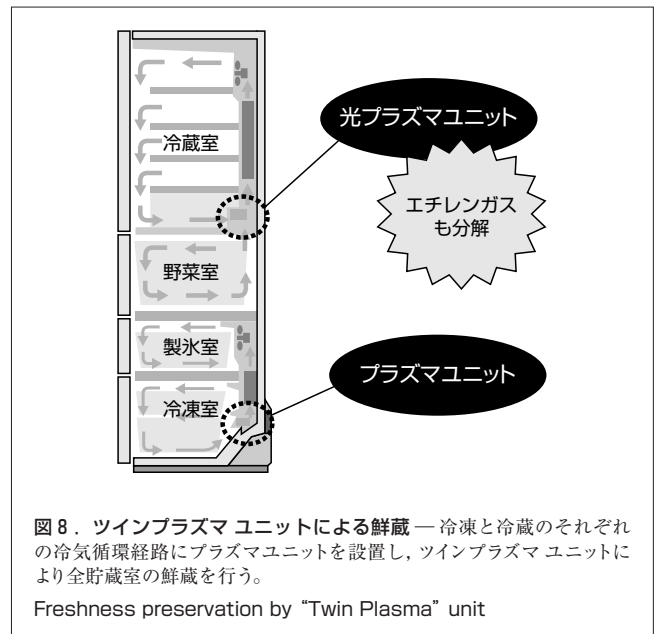
5 “ツインプラズマ” ユニットによる冷凍鮮蔵

図8に示すように、冷蔵の冷気循環経路に搭載している光プラズマユニット^(注1)に加え、冷凍の冷気循環経路に新たに同機能のプラズマユニットを搭載した。

これにより、ホームフリージング時の肉や魚の臭気が、自動製氷した氷やごはん、アイスクリームなどに移るのを防ぐことができた。特に氷に関しては、製氷前の給水タンクでの移臭は冷蔵室に作用する光プラズマユニットで、また、製氷中及び貯氷中の移臭はプラズマユニットで抑えることにより、におい移りのないおいしい氷にすることができた。

冷凍室に用いたプラズマユニットは、セラミック電極に交流高電圧(約4.5 kV)を印加することでプラズマ(電離)空間

(注1) 三次元の多孔質触媒をメッシュ状の電極で挟み込んだ装置である。電極に高電圧(8.8 kV)を印加し、発生する紫外線(380 nm以下)により光触媒を活性化して、臭気物質の分解除去、浮遊菌の活動抑制、果物などから発生するエチレンガスの吸着・分解により食品の鮮度を保持する。



を作り、そこで発生するオゾンの強力な酸化分解作用により、脱臭と浮遊菌の活動抑制を連続的に行う。

6 あとがき

当社は、環境への影響が小さいノンフロン冷蔵庫を他社に先駆けて発売し、更に2004年度は冷凍・冷蔵室同時冷却を実現する究極のツイン冷却とも言える2ステージパラレル冷凍サイクルを業界で初めて開発し商品化した。これらにより、省エネにおいても業界トップ(2004年4月現在)の低消費電力量を実現し、2003年度の第14回省エネ大賞 資源エネルギー庁長官賞を受賞することができた。

今後とも、今回開発した要素技術をほかの冷蔵庫に採用を拡大し、環境調和型製品の開発に積極的に取り組んでいく。

- 

伊藤 達也 ITO Tatsuya
東芝家電製造(株)冷蔵庫商品部 冷蔵庫技術担当主務。
冷蔵庫の開発・設計に従事。
Toshiba HA Products Co., Ltd.
- 

今久保 賢治 IMAKUBO Kenji
東芝家電製造(株)冷蔵庫商品部 冷蔵庫技術担当主務。
冷蔵庫の開発・設計に従事。
Toshiba HA Products Co., Ltd.
- 

林 秀竹 HAYASHI Hidetake
東芝家電製造(株)家電機器開発部 要素技術第一担当主務。
家電機器の要素技術開発に従事。
Toshiba HA Products Co., Ltd.